

넓은 제어범위를 가지는 게인스케줄링 온도제어기 설계 Design of Temperature Based Gain Scheduled Controller for wide temperature variation

*정재현¹, #김정한²

*Jae Hyeon Jeong¹, #Jung Han Kim(hankim@seoultech.ac.kr)²

^{1,2} 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과

Key words : temperature control, gain scheduling, ARMAX, modeling, nonlinear system, PI controller

1. 서론

온도 제어시스템은 열의 전달과 입출력에 의한 비선형적 특성 때문에 정확한 모델링 및 제어가 어렵게 되는데, 특히 넓은 온도 변화에 따른 시스템모델의 변화가 커지는 경우가 많아 일반 PID 제어기로는 좋은 성능을 내기 힘들다. 또한 상용화된 제어기는 단일한 모델링 및 제어 게인 세트를 가지고 있어 전체 온도범위에서의 최적화된 성능을 얻는데 한계가 있으며, 튜닝에 사용된 온도대역 이외의 구간에서는 성능이 크게 떨어지게 된다.

현대제어이론의 발전으로 온도제어에 대한 고급제어 알고리즘¹⁻³이 많이 연구되고 있으나 실제 산업현장에서는 PI 또는 PID 제어기를 널리 사용하고 있다.

본 논문에서는 플랜트의 다이내믹스를 모델링하여 최적 제어 파라미터를 스케줄링(scheduling)하고 온도에 따라 게인이 입체적으로 변하는 Temperature Based Gain Scheduled Controller (TBGSC)를 설계 및 검증하였다.

2. 칠러 시스템

기본적인 시스템 구성은 Fig.1 과 같으며 냉각(cooling)과 가열(heating)을 이용하여 온도를 제어하게 된다. 본 연구에서 사용된 장비는 냉각이 일정한 상태에서 히터의 on/off 듀티(duty)를 PWM 신호로 제어한다.

칠러는 냉장고와는 달리 원거리에 있는 제어대상체에 냉매를 순환시키는 별도의 냉매를 가지는 이중구조로 되어있으며, 쿨러는 항상 켜놓고 히터로만 온도제어를 하게되는데, 그

이유는 압축기의 on/off 자체가 비선형적인 온도의 점프나 단속을 유발하기 때문이다.

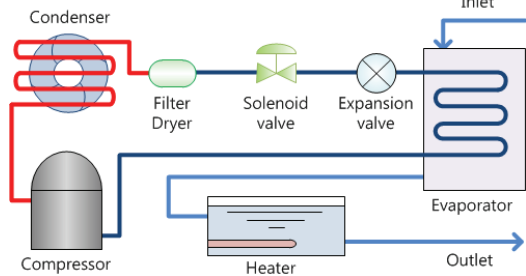


Fig. 1 Schematic diagram of system

3. 모델링

본 연구에서는 Heat Exchanger (TK-HE7050 SC)를 사용하여 모델링을 하였으며 모델식별은 시스템의 입출력 데이터를 이용한 ARMAX (auto regressive moving average exogenous) 제어 모델을 구성하였고 관계식은 식(1)과 같다.

$$A(q)y(t) = B(q)u(t - n_k) + C(q)e(t) \quad (1)$$

$$A(q) = 1 + a_1 q^{-1} + \dots + a_{na} q^{-na} \quad (2)$$

$$B(q) = b_1 + b_2 q^{-1} + \dots + b_{nb} q^{-nb+1} \quad (3)$$

$$C(q) = 1 + c_1 q^{-1} + \dots + c_{nc} q^{-nc} \quad (4)$$

모델은 정밀한 온도 모델을 사용하기 위해 2 차시스템으로 모델을 구성하였고, 각 구간에 따른 전달함수를 측정하여 정리하면 Table 1 과 같다.

Table 1 Transfer function for temperature range

온도범위	전달함수 G(s)
구간 1 (20~28℃)	$G_1(s) = \frac{1.3 \times 10^{-9} s^2 + 0.0437 s + 0.8757}{s^2 + 284.2s + 0.6336}$

구간 2 (28~36°C)	$G_2(s) = \frac{10^{-5}(0.012s^2 + 0.8413s + 11.91)}{s^2 + 0.06568s + 0.0001361}$
구간 3 (36~44°C)	$G_3(s) = \frac{1.888 \times 10^{-7}s^2 + 1.814s + 36.27}{s^2 + 2.529 \times 10^4s + 51.09}$
구간 4 (44~52°C)	$G_4(s) = \frac{10^{-6}(6.75 \times 10^{-5}s^2 + 2.781s + 55.6)}{s^2 + 0.05151s + 8.829 \times 10^{-5}}$
구간 5 (52~60°C)	$G_5(s) = \frac{10^{-3}(3.9 \times 10^{-12}s^2 + 4.538s + 90.77)}{s^2 + 23.08s + 0.1614}$

구간에 따라 설계된 5 개의 모델링방정식은 온도에 따라 변화하는 것을 볼 수 있는데, 이는 시스템의 특성을 나타내는 주극점의 위치가 변화하는 것을 알 수 있고, 이러한 변화를 고려해야만 최적 제어를 설계할 수 있다.

4. PI 제어기의 설계

최적제어계인은 MATLAB 을 이용하여 플랜트 전달함수 $G(s)$ 에 대한 Step 응답시뮬레이션으로 구하였으며, 구간에 따른 계인은 Fig. 2 와 같다.

설계된 제어기는 자동적으로 온도에 따라 계인이 스케줄링(scheduling)됨으로써 변화하는 시스템의 최적의 제어계인을 항상 추종하도록 설계하였으며, 제어기의 PI 계인은 시뮬레이션 결과 및 실험을 통해 최적값을 구하여 적용하였다.

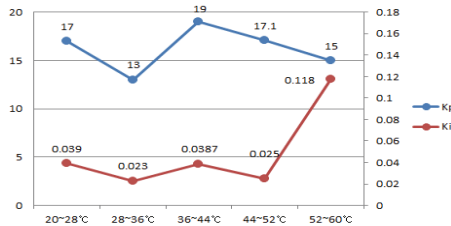


Fig. 2 K_p, K_i gain for temperature

5. 검증 실험 및 결과

시뮬레이션 결과를 토대로 구성된 제어기를 실험장비(TK-HE7050SC)에 적용하여 제어기의 성능을 테스트하였다. 실험방법은 초기 온도 20 도에서 시작하여 목표온도를 5 도씩 올려가며 기존 제어기와 성능을 비교하였으며 결과는 다음 Fig. 3 과 같다.

Fig.3 에서 제시된 바와 같이 기존 제어기보다 제안된 제어기의 응답이 더 빠른 것을 알 수 있으며 구간에 따른 정착시간(settling time) 및 단출률은 Table 2 에 나타내었다.

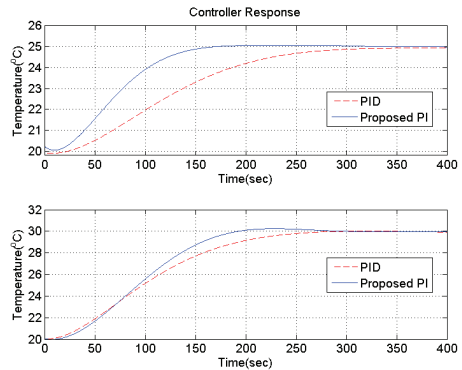


Fig. 3 Comparison of response: target temperature of 25°C, 30°C

Table 2 Comparison of measured settling time(sec.)

온도(°C)	Existing PID controller	Proposed TBGSC	T_s 단출률(%)
20~25	292	142	51.37
20~30	245	181	26.12
20~35	356	302	15.17
20~40	476	417	12.39

6. 결론

본 연구에서는 넓은 온도제어 범위를 가지는 플랜트의 효율적인 온도제어를 위해, 열전달 및 방출시스템의 비선형적 특성과 단일 계인 세트에 의한 제어방식을 온도 구역별로 모델링하여 플랜트의 파라미터를 입체적으로 설계하는 다수개의 계인 세트에 대체함으로써 빠른 응답특성과 효율적인 성능을 얻어내었다.

참고문헌

1. 전봉근, 송창섭, 금영탁, “적응최적시간제어를 사용한 전기로의 온도제어,” 한국 정밀 공학회지, 제 26 권 5 호, 120-127, 2009
2. 조수영, 김재용, 강태삼, 이호준, 고광일, “반도체 테스트 핸들러를 위한 온도 제어기 개발,” 대한 전기학회논문지, 제 48 권 4 호, 395-401, 1999
3. 조원철, 정인갑, 심태은, “신경회로망을 이용한 PID 구조를 갖는 자기동조제어기의 설계,” 대한 전자공학회논문지, 제 39 권 SC 편 제 6 호, 1-8, 2002